



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

**MECANISMOS DE LATENCIA FÍSICA EN DOS GÉNEROS
DE LEGUMINOSAS**

TESIS

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

Presenta:

Everardo Illescas Gallegos



DIRECCION GENERAL ACADÉMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
UNIDAD DE EXAMENES PROFESIONALES

Chapingo, Estado de México, Agosto de 2018.



La presente tesis titulada "Mecanismos de latencia física en dos géneros de leguminosas", fue realizada por Everardo Illescas Gallegos, bajo la dirección del Dr. Dante Arturo Rodríguez Trejo, ha sido revisada y aprobada por el siguiente Comité Revisor y Jurado Examinador para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR:



DR. DANTE ARTURO RODRÍGUEZ TREJO

ASESOR:



DR. ANTONIO VILLANUEVA MORALES

ASESOR:



DRA MA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

Chapingo, Texcoco, México, Agosto de 2018.

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Generales	3
1.1.2. Particulares	3
1.2. Literatura citada	4
CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Nomenclatura	5
2.2. Descripción del género <i>Prosopis</i> L.	5
2.3. Descripción del género <i>Vachellia</i> Wight & Arn.....	6
2.4. Distribución de <i>Prosopis</i> y <i>Vachellia</i> en México	7
2.5. Importancia ecológica de <i>Prosopis</i> y <i>Vachellia</i>	8
2.6. Literatura citada	9
CAPÍTULO 3. MECANISMOS DE LATENCIA FÍSICA EN DONS GENEROS DE LEGUMINOSAS	11
PHYSICAL DORMANCY MECHANISMS IN TWO LEGUME GENUS	11
2.1. INTRODUCCIÓN	13
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS	15
2.2.1. Anatomía macroscópica	15
2.2.2. Anatomía microscópica	15
2.2.3. Métodos de escarificación	16
Escarificación química	16
Escarificación térmica	16
Escarificación mecánica	16
2.2.4. Resistencia a la ruptura	17
2.2.5. Siembra	17
2.2.6. Diseño experimental	18
2.2.7. Análisis estadístico	18
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19

3.3.1. Análisis y anatomía macroscópica y microscópica de las semillas	19
3.3.2. Germinación.....	20
3.3.3. Resistencia a la ruptura.....	23
3.4. CONCLUSIONES.....	25
3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las especies estudiadas.	5
Tabla 2. Tratamientos de escarificación: química con HCl, térmica con diferentes temperaturas, mecánica (lijado) y un testigo.	28
Tabla 3. Resultados del análisis de semillas (excepto germinación).	28
Tabla 4. Características morfométricas y valores promedio (\pm desviación estándar) de las semillas.	29
Tabla 5. Comparación de medias (prueba de Tukey, $\alpha=0.05$) entre tratamientos para <i>V. schaffneri</i> , <i>V. farnesiana</i> y <i>P. glandulosa</i>	30
Tabla 6. Comparación de medias (prueba de Tukey, $\alpha=0.05$) entre tratamientos para <i>V. pennatula</i> y <i>P. laevigata</i>	31
Tabla 7. Resultados de las cargas por compresión y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), entre especies.	32
Tabla 8. Calificación a la latencia más intensa a diferentes factores.	32

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Cotiledones (a) y partes internas de la cubierta seminal de <i>V. pennatula</i> . b = endospermo; c = parénquima esponjoso; d = osteosclereidas y macrosclereidas; e = cutícula.	33
Figura 2. Cotiledones (a) y partes internas de la cubierta seminal de <i>P. glandulosa</i> . b = endospermo; c = parénquima esponjoso; d = osteosclereidas y macrosclereidas; e = cutícula.	34
Figura 3. Germinación acumulada para semillas de <i>P. laevigata</i> . Escarificación química, T1=30, T2=120, T3=150 y T4=180 min en HCl; escarificación térmica, 3 min a T5=80, T6=100, T7=120 y T8=140°C; T9=lijado y T10=testigo.	35
Figura 4. Curva de germinación acumulada para semillas de <i>V. schaffneri</i>	35

DEDICATORIA

A mis padres, que siempre me apoyaron incondicionalmente, y porque ellos son la motivación de mi vida y el camino hacia la superación.

A mis hermanos, por ser parte del proceso desde el inicio, y que sin sus consejos y apoyo incondicional esto no podría haberse realizado.

A mis abuelos†, gracias a sus sabios consejos para ir por el camino correcto.

Sin dejar atrás a tíos y primos, por estar siempre en los momentos más difíciles.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el financiamiento otorgado para la realización de mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo y a la División de Ciencias Forestales, por permitir realizar mis estudios de posgrado.

A los miembros de comité asesor.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Everardo Illescas Gallegos

Fecha de nacimiento: 25 de mayo de 1990

Lugar de nacimiento: Santiago Camotlán, Oaxaca

No. Cartilla militar:

CURP:

Profesión: Ingeniero en Restauración Forestal

Cedula Profesional:

Desarrollo académico

Preparatoria: Colegio Científico y Tecnológico del Estado de Oaxaca, EMSaD 09 San Pedro Cajonos, Oaxaca.

Licenciatura: División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La palabra latencia proviene del latín “*Latens-latentis*”, que significa: oculto, escondido o aparentemente inactivo. En biología se refiere al fenómeno natural que se presenta en las semillas de diversos árboles y arbustos, en el cual las semillas maduras y viables no germinan, aunque cuenten con las condiciones favorables de luminosidad, temperatura y humedad (Ruiz, 2010). Aunque la latencia representa mecanismos de adaptación para la supervivencia del embrión ante diversos factores ambientales, en los viveros forestales se le considera entonces como un problema germinativo.

Baskin & Baskin (2004) modifican a Nikolaeva (1977) y categorizan dos tipos de latencia: la exógena y la endógena: esta última se subdivide en morfológica y fisiológica. La latencia exógena o por la cubierta de las semillas, se presenta especialmente en el pericarpio o parte externa de la semilla, es generada por varios factores y que se clasifica a su vez en: latencia física (A_{ph}), testa dura e impermeable: latencia química (A_{ch}), presencia o acumulación de inhibidores o sustancias químicas en la cubierta; y latencia mecánica (A_m), testa extremadamente dura y no permite el crecimiento del embrión, aunque sí la entrada de agua. La latencia morfológica (B), consiste en un subdesarrollo del embrión y se genera específicamente por la presencia de embriones rudimentarios llamados pro-embryones o embriones poco desarrollados, la semilla no está lista para la germinación. Y por último la latencia fisiológica (C), se presenta en el interior de los tejidos, se divide en tres categorías: superficial (C_1), intermedia (C_2) y profunda (C_3), este tipo depende de un inhibidor como el bloqueo metabólico.

Igualmente, algunas semillas pueden presentar combinaciones de tipos de latencia: latencia morfofisiológica (B-C), son embriones rudimentarios y dormición

fisiológica que afectan tanto la germinación como el crecimiento de las plántulas y la latencia compuesta, que se puede componer de latencia física más latencia fisiológica ($A_{ph} + C$) o la combinación de exógena-morfológica-fisiológica (A-B-C) (Baskin & Baskin 2008). Camacho (2011) menciona otro tipo de latencia, la latencia morfosimbiótica, que se caracteriza por la presencia de embriones rudimentarios y exigencias de simbiosis.

Los géneros *Vachellia*, *Prosopis*, *Enterolobium* y *Lupinus* son algunos en los que se presentan semillas con latencia exógena, específicamente latencia física; los tratamientos para lograr la imbibición del embrión y como consecuencia la germinación son varios y de diferente naturaleza. Los métodos físicos consisten en cortar, romper o desgastar la cubierta seminal utilizando papel lija (Godínez-Álvarez & Flores-Martínez, 2000), arena, grava o pequeños trozos de vidrio (Willian, 1991). El remojo en agua potable o destilada caliente, fría o a temperatura ambiente (Minchala-Patiño et al., 2014), sirve para lixiviar los inhibidores químicos en aquellas especies que presentan latencia química o latencia combinada o ablandar la cubierta seminal en aquellas con latencia física. Los tratamientos químicos más utilizados son inmersión en ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 98% (Miranda et al., 2011), ácido clorhídrico (HCl) y vinagre al 5% de acidez en menor medida (Sobrevilla-Solís et al., 2013) El mecanismo de los ácidos es el mismo que el agua, ablandar o desgastar la cubierta dura de las semillas. Los métodos biológicos son otro grupo importante para algunas especies, en este caso se tienen reportes de la utilización del tracto de algunos animales (rumiantes principalmente) para que los jugos gástricos desgasten la cubierta. El último método es la aplicación de calor seco y fuego a las semillas de forma natural (Danthu et al., 2003), estos reducen la impermeabilidad al degradarse parcialmente la cubierta seminal ante las elevadas temperaturas.

Para romper la latencia y lograr un porcentaje mayor en la germinación, es necesario aplicar en las semillas tratamientos pregerminativos adecuados a la especie, clase y tipo de latencia presente, es importante reconocer que cada una de éstas tiene uno o varios tratamientos.

1.1. Objetivos

1.1.1. Generales

- Caracterizar morfológicamente (largo, ancho, forma y color) y conocer las características anatómicas generales de las semillas de *Vachellia schaffneri* (S. Watson) Seigler & Eibinger, *Vachellia pennatula* (S. Watson) Seigler & Eibinger, *Vachellia farnesiana* (L.) Wight & Arn., *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst y *Prosopis glandulosa* Torr.
- Identificar la respuesta a dos diferentes tratamientos pregerminativos.

1.1.2. Particulares

- Evaluar un método químico pregerminativo con HCl, simulando los jugos gástricos de los rumiantes.
- Relacionar la tolerancia a las altas temperaturas y la respuesta germinación.
- Calificar la resistencia de las semillas a la ruptura.
- Describir las partes de la cubierta seminal y relacionarlas con la latencia física.
- Establecer ante qué tipo(s) de factor(es) naturales (abrasión con partículas del suelo, masticado y pisoteo, contacto con jugo gástricos, fuego) sirve mejora la latencia física con que cuenta cada una de las especies estudiadas, así como la intensidad de la latencia en general y con respecto a cada uno de los factores estudiados.

1.2. Literatura citada

- Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (2004). A classification system for seed dormancy. *Seed Science Research*, 14, 1-16. <https://doi.org/10.1079/SSR2003150>
- Baskin, J.M. & Baskin, C.C. (2008). Some considerations for adoption of Nikolaeva's formula system into seed dormancy classification. *Seed Science Research*, 18(3), 131-137. <https://doi.org/10.1017/S096025850803674X>
- Camacho, M.F. (2011). *Dormición de semillas: causas y tratamientos*. 2da ed. México: Trillas.
- Danthu, P., Ndongo, M., Diaou, M., Thiam, O., Sarr, A., Dedhiou, B., & Ould Mohamed Vall, A. (2003). Impact of bush fire on germination of some West African acacias. *Forest Ecology and Management*. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00822-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00822-2)
- Godínez-Álvarez, H., & Flores-Martínez, A. (2000). Germinación de 32 especies de plantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica. *Polibotánica*, 11, 1–29.
- Minchala-Patiño, J., Poma-Angamarca, R., Muñoz-Chamba, L., Yaguana-Arévalo, M., González-Zaruma, D., Eras-Guamán, V. H., ... Delgado-Paredes, G. E. (2014). Propagación in vitro de *Prosopis limensis* Benth. in Hook. (Fabaceae -Mimosoideae) In vitro propagation of *Prosopis limensis* Benth. in Hook. (Fabaceae -Mimosoideae). *Quebracho-Revista de Ciencias Forestales*, 22(2), 88–99.
- Miranda, R. Q., Oliveira, M. T. P., Correia, R. M., Almeida-Cortez, J. S., & Pompelli, M. F. (2011). Germination of *Prosopis juliflora* (Sw) DC seeds after scarification treatments. *Plant Species Biology*, 26(2), 186–192. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00324.x>
- Nikolaeva, M.G. (1977). Factors controlling the seed dormancy pattern. pp. 51–74 in Khan, A.A. (Ed.) *The physiology and biochemistry of seed dormancy and germination*. Amsterdam, North-Holland.
- Ruiz, P.A. (2010). Latencia: Cuando las semillas duermen. *Muebles y Maderas*, 66, 12-19.
- Sobrevilla-Solís, J. A., López-Escamilla, A. L., Romero-Bautista, L., & López-Herrera, M. (2013). Evaluación de diferentes tratamientos pregerminativos y osmóticos en la germinación de *Prosopis laevigata* (Humb. y Bonpl. ex Willd) M. C. Johnston. *Estudios Científicos En El Estado de Hidalgo y Zonas Aledañas*, 2, 83–95.
- Willian, R.L. (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales*. Roma, Italia: FAO.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Nomenclatura

Clasificación taxonómica para las especies de *Prosopis* y *Vachellia* (Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación taxonómica de las especies estudiadas.

Mezquite	Huizache
Reino: Plantae	Reino: Plantae
Filum: Magnoliophyta	Filum: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida	Clase: Magnoliopsida
Orden: Fabales	Orden: Fabales
Familia: Fabaceae	Familia: Fabaceae
Subfamilia: Caesalpinioideae	Subfamilia: Caesalpinioideae
Tribu: Mimoseae	Tribu: Acacieae
Género: <i>Prosopis</i>	Género: <i>Vachellia</i>
Especies: <i>P. laevigata</i> y <i>P. glandulosa</i>	Especies: <i>V. schaffneri</i> , <i>V. pennatula</i> y <i>V. farnesiana</i>

2.2. Descripción del género *Prosopis* L.

Su origen fitogeográfico se ubica en África, donde está presente una sola especie, *Prosopis africana* (Burkat, 1976; Rzedowski, 1988). A nivel mundial existen 44 especies. Rzedowski (1988) menciona que en México y el sur de Estados Unidos (Texas,) comparten 10 especies: *P. palmeri*, *P. reptans* var. *cinerascens*, *P. pubescens*, *P. articulata*, *P. tamaulipana*, *P. velutina*, *P. laevigata*, *P. juliflora*, *P. glandulosa* var. *glandulosa*, *P. glandulosa* var. *torreyana*.

P. laevigata y *P. glandulosa*, son árboles o arbustos espinosos, perennes, pueden llegar a medir de 6 a 10 m, algunos 13 m, y diámetro normal comúnmente de 40 cm pudiendo llegar en algunos casos a los 80 cm (Cervantes-Ramírez, 2005). Los tallos son de corteza gruesa de color café-negruzco, fisurada y ramas con abundantes espinas axilares o terminales (Carranza & Villareal, 1997).

Las hojas son compuestas biparipinnadas, muy rara vez pinnadas, cada una con 10 a 20 pares de folíolos oblongos o lineares de 5 a 10 mm de largo, más o menos persistentes. Solo presentan un par de pinnas por hoja. Las flores son bisexuales, sésiles o pediceladas; cáliz gamosépalo campanulado, con cinco pétalos lineares de 2 a 6 mm de largo fusionados hasta la mitad o libres de la base, son de color blanco-verdoso o en algunos casos amarillentos. Los frutos son vainas alargadas rectas o arqueadas, de 10 a 30 cm de longitud, con un color paja a rojizo violáceo. El mesocarpo es carnoso y dulce o fibroso y el endocarpo dividido en segmentos coriáceos con una semilla (lomento drupáceo), el fruto es indehiscente, puede contener de 12 a 20 semillas, que presentan pleurograma. Éstas pueden ser de formas diversas, como oblongas u ovoides, la testa es de color variado de color café o parda según la especie. La diseminación de la semilla es zoófila y endozóica (Valenzuela-Núñez et al., 2005).

2.3. Descripción del género *Vachellia* Wight & Arn.

Hasta el 2005 se conocía como *Acacia*, con la actualización de los géneros pasó a ser llamada *Vachellia* (Seigler & Ebinger, 2006). En la gran mayoría de las publicaciones se sigue utilizando la sinonimia *Acacia*, ya que las especies se conocen más con este género. En esta investigación se utiliza la actualizada, *Vachellia*.

El género comprende arbustos y árboles, que pueden llegar a 1-2 m en forma arbustiva, y 3 a 10 m de altura en el estrato arbóreo (Barros, 2007).

Hojas alternas, pinnadas o bipinnadas, con 2 o más folíolos; pulvínulos siempre presentes; estípulas presentes, a veces modificadas en espinas. Inflorescencias

paniculares, racimosas, simples, en cabezuelas o espigas. Flores generalmente perfectas, algunas veces solo estaminadas o con ovarios muy reducidos, en la mayoría son de color amarillo, crema o blanquecino. Fruto en legumbre, comúnmente seca, dehiscente, tardíamente dehiscente o indehiscente; legumbre a veces modificada en lomento; exocarpo liso, verrucado, ligera o densamente armado; mesocarpo de ausente a muy desarrollado y entonces fibroso o esponjoso; endocarpo liso o formando septos, de color ocre o rojo brillante; semillas desde 1 a 35 por legumbre, generalmente con pleurograma (Rico, 2001).

2.4. Distribución de *Prosopis* y *Vachellia* en México

El mezquite se desarrolla en las regiones áridas y semiáridas de México, tiene múltiples usos, su madera es usada como combustible (leña y carbón), utilizada también como cercas vivas, las vainas y hojas se utilizan como forraje y alimento humano, la resina que produce es utilizada en la fabricación de pegamentos o barnices, mientras que las flores se utilizan en la producción de miel y al igual que la corteza se usan en la medicina tradicional (Rodríguez et al., 2014). En México la distribución comprende casi todo el territorio mexicano, a excepción de las zonas montañosas y las partes bajas del sureste del país, el área de mezquites ocupa 1.9% de la superficie total del país (Rodríguez et al., 2014) *P. laevigata* es el mezquite típico del centro y sur de México, mientras que *P. glandulosa* está presente al norte de México y el suroeste de Estados Unidos. En las zonas en donde las dos especies coexisten, se puede observar una franja de árboles con caracteres intermedios (Rzedowski, 1988).

Cervantes-Ramírez (2005) destaca dos grupos de acuerdo con su producción forestal, en el primero están aquellos con buena producción: Sonora, San Luis Potosí, Tamaulipas, Guanajuato, Zacatecas, Durango, Coahuila y Nuevo León; en el segundo están los de menor producción: Aguascalientes, Baja California Sur, Chihuahua, Jalisco, Oaxaca y Sinaloa.

En México, se reconocen alrededor de 84 especies nativas de *Vachellia*, 34 endémicas del país. En Oaxaca han sido recolectadas 35 especies, cuatro de

ellas endémicas de la cuenca alta del Río Balsas. La pantropical *V. farnesiana* está presente en todo el país, abarcando una gran variedad de climas y ecosistemas (altitudes de 0-2600 msnm, temperaturas de 5-30°C y precipitaciones de 100- 900 mm anuales, en promedio) (Rico, 2001).

Rzedowski (2006) clasifica a los géneros *Prosopis* y *Vachellia* dentro del bosque espinoso y, dependiendo de la especie dominante, se denominan mezquites o huizachales, y constituyen la principal cobertura leñosa en los trópicos y subtropicos secos, también pueden encontrarse individuos en el bosque tropical perennifolio, bosque tropical subcaducifolio, bosque tropical caducifolio y pastizal. Toleran, además, sequías extremas, suelos en condiciones difíciles y poseen la capacidad de fijar el nitrógeno atmosférico, por lo que juegan un importante papel en la conservación de suelos. Asimismo, son géneros clave de los ecosistemas áridos y semiáridos mexicanos.

2.5. Importancia ecológica de *Prosopis* y *Vachellia*

Entre las adaptaciones desarrolladas por los mezquites para establecerse en los climas áridos y semiáridos destacan su profundo y amplio sistema radical, elevada presión osmótica y la reducción foliar. Cuando se encuentran en forma arbórea indican la presencia de agua freática. Se establecen en suelos de buena calidad y esto ha sido la causa que sean desplazados por la agricultura en gran parte del país (CONAZA-INE, 1994). Sin embargo, también pueden establecerse en una amplia gama de suelos; en forma arbórea están en suelos profundos y partes bajas de los valles, mientras que de forma arbustiva se encuentran en laderas de los cerros y suelos degradados (Ríos et al., 2013). Estas especies tienen otras funciones, como cercas vivas de su propio hábitat al desarrollarse en franjas sobre los cauces de ríos. En éstas proporcionan sombra y refugio a la fauna silvestre y doméstica, funcionan como planta hospedante de otras especies vegetales, como epífitas y hemiparásitas, al igual que sirve como planta nodriza de varias especies de fauna, por ejemplo, aves y roedores.

Los mezquites y huizaches tienen un papel ecológico importante al ser fijadoras de nitrógeno, debido a esto promueve el crecimiento de matorrales asociados a ella y así se evita la erosión del suelo (Valenzuela-Nuñez et al., 2013). Algunas especies como *Vachellia farnesiana* impacta de manera favorable en zonas de cultivos abandonadas, esta especie invade en un periodo de 3-5 años (Estrada et al., 2004), se reduce el tiempo que el suelo queda desnudo y propenso a erosión.

2.6. Literatura citada

- Barros, A. S. (2007). El género *Acacia*, especie multipropósito. *Ciencia e Investigación Forestal*, 5, 5-30.
- Burkart, D.I. (1976). A monograph of the genus *Prosopis* (Leguminosae subfam. Mimosoideae). *Arnold Arbor*, 57, 217-249; 450-485.
- Carranza, M. A. & Villareal, Q. (1997). *Leguminosas de Coahuila, México*. Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro". Departamento de Botánica. Buenavista, Saltillo, Coah. México
- Cervantes-Ramírez, M. (2005). Plantas de importancia económica en zonas áridas y semiáridas de México. *X Encuentro de Geógrafos de América Latina*, 3388–3407.
- Comisión Nacional de Zonas Áridas-Instituto de Ecología (CONAZA-INE). (1994). Mezquite *Prosopis* spp. Cultivo alternativo para las zonas áridas y semiáridas de México. México. D.F.
- Estrada, E., Yen, C., Delgado, A., & Villareal, J.A. (2004). Leguminosas del centro del estado de Nuevo León, México. *Anales del Instituto de Biología. Serie Botánica*, 75, 73-85.
- Rico, M.L. (2001). El género acacia (Leguminosae, Mimosoideae) en el estado de Oaxaca, México (parte A). *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 58(29), 551-275.
- Ríos, J.C., Martínez, M., & Monjica, A.S. (2013). Capítulo II. Caracterización ecológica y socioeconómica del mezquite (*Prosopis* spp). En. Martínez, M., *Ecología y usos de especies forestales de interés comercial de las zonas áridas de México*. Chihuahua, Aldama: INIFAP.
- Rodríguez, E.N., Rojo, G.E., Ramírez, B., Martínez, R., Cong, M. de la C., Medina, S.M. & Piña, H.H. (2014). Análisis técnico del árbol del mezquite (*Prosopis laevigata* Humb. & Bonpl. ex Willd) en México. *Ra Ximhai*, 10(3), 173-193.
- Rzedowski, J. (1988). Análisis de la distribución geográfica del complejo *Prosopis* (Leguminosae, Mimosoideae) en Norteamérica. *Acta Botánica Mexicana*,

3(9), 7–19. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Rzedowski, J. (2006). Capítulo 13. Bosque espinoso. En: *Vegetación de México. México*: CONABIO. <https://doi.org/10.2307/1219727>

Seigler, D. S. & Ebinger, J. 2005. New combinations in the genus *Vachellia* (Fabace: Mimosoideae) from the new world. *Phytologia* 87(3): 139-178.

Valenzuela-Núñez, L.M., Rivera-González, M., Trucios-Caciano, R., & Ríos-Saucedo, J.C. (2013). Características ecológicas y dasométricas de dos comunidades con mezquite (*Prosopis laevigata* [Humb. et Bonpl, ex Willd] M.C. Johnston) en el estado de Durango. *Tecnociencia Chihuahua*, 7, 32-38.

Valenzuela-Núñez, L.M., Trucios-Caciano, R., Ríos-Saucedo, J.C., Flores, H. A., & González-Barrios, J.L. (2011). Caracterización dasométrica y delimitación de rodales de mezquite (*Prosopis*) en el Estado de Coahuila. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, XVII, 247-258. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa>.

NOTA: EL FORMATO DEL ARTÍCULO ES EL QUE EXIGE LA REVISTA “SCIENTIA FORESTALIS”, QUE A DONDE SE ENVÍO.

CAPÍTULO 3. MECANISMOS DE LATENCIA FÍSICA EN DONS GENEROS DE LEGUMINOSAS

PHYSICAL DORMANCY MECHANISMS IN TWO LEGUME GENUS

Everardo Illescas-Gallegos¹, Dante Arturo Rodríguez-Trejo², Antonio Villanueva-Morales³, María Amparo Borja-de la Rosa⁴, Luis Alejandro Ortega-Aragón⁵, Víctor Rubén Ordóñez-Candelaria⁶

Resumen

Los mezquites (*Prosopis laevigata* y *P. glandulosa*) y huizaches (*Vachellia schaffneri*, *V. pennatula* y *V. farnesiana*), son elementos característicos de las zonas semiáridas. Debido a las condiciones que allí prevalecen sus semillas presentan latencia física. En el medio natural las semillas son escarificadas al pasar por el tracto digestivo de los animales, masticado y pisoteo, incendios o al ser arrastradas en la época de lluvias. El objetivo de esta investigación fue evaluar tres métodos de escarificación que simulan tales factores naturales de escarificación: química (inmersión en HCl durante 30, 120, 150 y 180 min),

¹ Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo. Méx., C.P. 56230, MÉXICO. E-mail: illescagallegos@gmail.com

² Ph. D., Profesor-Investigador. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo. Méx., C.P. 56230, MÉXICO. E-mail: dantearturo@yahoo.com

³ Ph. D., Profesor-Investigador. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo. Méx., C.P. 56230, MÉXICO. E-mail: antoniov28@gmail.com

⁴ Dr., Profesor-investigador. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo. Méx., C.P. 56230, MÉXICO. E-mail: aborjad@chapingo.mx

⁵ Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Km. 38.5 Carr. México-Texcoco. Chapingo, Edo. Méx., C.P. 56230, MÉXICO. E-mail: lanisaf@chapingo.mx

⁶ Instituto de Ecología A.C. Carretera antigua a Coatepec 351, Xalapa, Veracruz. C.P. 91070 E-mail: victor.ordonez@inecol.mx

térmica (80, 100, 120 y 140 °C durante 3 min) y mecánica (lijado), así como un testigo. Además, se midió la resistencia a la ruptura por compresión. El diseño experimental fue en bloques al azar, por especie. Los bloques fueron las cajas germinadoras. Se hizo análisis de la semilla. A los resultados de germinación y resistencia se les realizó un análisis de varianza y pruebas de Tukey. La pureza fue de 95%, la viabilidad alcanzó 100%. La germinación con lijado en las cinco especies mostró valores de germinación de 81.2 a 100%, *P. laevigata* tendió a germinar más a mayor tiempo de inmersión en HCl. Los tratamientos térmicos no mostraron diferencias significativas entre sí. La prueba de resistencia arrojó que las especies más resistentes mecánicamente fueron *V. schaffneri* y *V. pennatula*, con 669 N y 653 N, mientras que la más baja fue *P. laevigata*, con 341 N. Se propone un índice de latencia física, el cual arrojó que la especie con la latencia más intensa fue *V. schaffneri*, con un valor de 0.83, y *P. glandulosa* obtuvo el menor valor, 0.42.

Palabras clave: índice de latencia física, latencia física, escarificación mecánica, escarificación química, escarificación térmica.

Abstract

Mezquites (*Prosopis laevigata* y *P. glandulosa*) and huizaches (*Vachellia schaffneri*, *V. pennatula* y *V. farnesiana*), are typical of semi-arid zones. This species present physical dormancy. In nature, this seeds are scarified by passing through the animal's digestive system, chewing, trampling or when dragged by rain. The objective of this work was to evaluate three scarification methods that

emulate the natural scarification: chemical (immersion in HCl for 30, 120, 150 and 180 min), thermal (80, 100, 120 and 140 °C along 3 min) and mechanical (sanding), as well as a control. Also was measured the resistance to breaking by compression. The experimental design was in random blocks, one experiment for each of the species. The blocks were the germinative boxes. The seed was analyzed. To study germination and resistance was applied a variance analysis as well as the Tukey test. Purity was equal to 95%, viability reached 100%. Germination for all the studied species after sanding reached from 81.2 to 100%. For *P. laevigata*, the longer the immersion in HCl, the higher the germination. The thermal tests showed no effects. The resistance test showed that the most mechanically resistant species were *V. schaffneri* and *V. pennatula*, with 669 N and 653 N, respectively, while the lowest value was obtained for *P. laevigata*, 341 N. Is proposed a physical dormancy index, that yielded a value of 0.83 for *V. schaffneri*, the highest value, and the lowest value was 0.42, for *P. glandulosa*.

Keywords: chemical scarification, mechanical scarification, thermal scarification, physical dormancy, physical dormancy index.

2.1. INTRODUCCIÓN

El 52% del territorio de México consta de regiones áridas. La regeneración natural en estas zonas se ve marcada por la breve época de lluvias, cuando las semillas contarán con suficiente humedad para germinar (SÁNCHEZ et al., 2014).

Las especies de *Prosopis* y *Vachellia*, presentan dispersión por autocoria y endozoocoria. La importancia ecológica de las leguminosas radica en que son mejoradoras de suelo, fijadoras de N, alimento para animales silvestres; asimismo, al desarrollarse en lugares áridos y semiáridos, donde el estrato arbóreo es escaso, cumplen doble función por ser refugio y alimento para la fauna y también como plantas nodriza en la regeneración de especies del mismo género u otras. Por ejemplo, *Canavalia ensiformis* (L.) DC. funciona como cobertura viva al suelo de dos a tres meses después que las lluvias han cesado, de otra manera el suelo queda desnudo (BENITES, 2016).

La semilla de muchas leguminosas presenta latencia física, es decir, la presencia de una cubierta seminal dura e impermeable que previene la germinación. En el ámbito natural, factores como masticado, paso por tracto digestivo, arrastre por escurrimientos superficiales o fuego terminan con la latencia. Dicha latencia está presente en muchas leguminosas (MILLER, 1995; BASKIN; BASKIN, 2001) y obliga a los viveristas a aplicar prácticas de escarificación para poder producir estas especies. Estas prácticas incluyen lijado, fractura, remojo en agua caliente, inmersión en ácido sulfúrico, entre otras, de acuerdo con MIRANDA et al. (2011) y MINCHALLA PATIÑO et al. (2014).

Los objetivos del presente trabajo son: probar diferentes métodos de escarificación (química, mecánica y térmica), que emulan agentes naturales de escarificación, en cinco especies de *Vachellia* y *Prosopis*; establecer ante qué agentes naturales funciona dicha latencia en las especies estudiadas; describir

las partes de la cubierta seminal y proponer un índice de latencia física que denote su intensidad ante diferentes agentes.

2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las semillas de *Vachellia schaffneri* (S. Watson) Seigler & Eibinger, *V. pennatula* (S. Watson) Seigler & Eibinger, *V. farnesiana* (L.) Wight & Arn., *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst y *P. glandulosa* Torr. se obtuvieron de la comunidad de Juchipila (Zacatecas) en 2018 y el mismo año se condujo el experimento.

Las semillas se analizaron bajo las normas del sistema ISTA, de acuerdo con BONNER et al. (1994). Estos análisis se llevaron a cabo en el Laboratorio de Semillas (LS) de la División de Ciencias Forestales (DICIFO), Universidad Autónoma Chapingo (UACH).

2.2.1. Anatomía macroscópica

Una muestra aleatoria de 25 semillas por especie fue separada en vasos de precipitado etiquetados. A cada una de las semillas se les midió longitud, ancho y grosor, con un vernier digital marca Truper (precisión de 0.01mm) y se les pesó en una báscula marca Ohaus Scout® (precisión 0.001g). La forma de las semillas se describió con base en NIEMBRO (1988).

2.2.2. Anatomía microscópica

Se obtuvieron microfotos de la sección transversal de la cubierta seminal. Las fotografías de Microscopia Electrónica se obtuvieron con la técnica de Barrido

(MEB) en el Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio Agroalimentario y Forestal (LANISAF), UACH.

2.2.3. Métodos de escarificación

La escarificación se hizo emulando agentes naturales que terminan con la latencia física. Entre tales factores se incluye: el paso por el tracto digestivo de fauna (o ganado) (se emuló con escarificación química), fuego (escarificación térmica), arrastre de las semillas sobre el piso (escarificación mecánica) y el masticado y pisoteo por fauna silvestre (o ganado) (resistencia a la ruptura).

Escarificación química

Se utilizó inmersión en HCl (ácido clorhídrico) al 98%. Se manejaron distintos tiempos de inmersión, cada tiempo fue considerado como un tratamiento (Tabla 1).

Escarificación térmica

La prueba de resistencia a las altas temperaturas se llevó a cabo en un horno de secado, a 80, 100, 120 y 140°C. Las semillas se sometieron a estas temperaturas durante 3 min (Tabla 1).

Escarificación mecánica

Para las dos especies de mezquite (*P. laevigata* y *P. glandulosa*) se utilizó lija para madera calibre 150 grano fino de la marca Truper®, en el caso de las tres

de huizache (*V. schaffneri*, *V. pennatula* y *V. farnesiana*) fue necesario el uso de lija para lámina, calibre 60 X-86 de la marca Fandeli®.

2.2.4. Resistencia a la ruptura

Para conocer la resistencia a la ruptura por compresión de las semillas se utilizó la máquina universal de pruebas Instron®, modelo 2285H (INSTRON, 2006) en el Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Dificio, UACH. Se tomaron aleatoriamente muestras de 25 semillas por especie, a las cuales se les sometió el ensayo de extensión por compresión. La velocidad de desplazamiento fue de 0.60 mm/min, con una cédula de carga de 51 521 N (51.521 kN). La prueba era detenida cuando se detectaba un crujido ocasionado por la ruptura de la semilla o cuando la gráfica mostraba una caída.

2.2.5. Siembra

La siembra fue realizada en cajas de siembra de plástico, su preparación incluyó una desinfección con alcohol al 98%, después se colocó tela fieltro de color crema como sustrato. Además, se aplicaron 80 ml de fungicida comercial Bravo 720 ® (ingrediente activo Clorotalonil: Tetracloroisoftalonitrilo) al 10%. Cada especie representó un experimento. En cada caja germinadora se sembró una repetición de cada tratamiento (excepto compresión) y cada caja se tomó como un bloque (4 repeticiones). Se usaron 20 semillas por repetición de cada tratamiento (800 semillas por especie, 4000 para todo el experimento de germinación). Las cajas fueron colocadas en cámaras de ambiente controlado, marca Biotronette®, con un fotoperiodo 12 h día/ 12 h noche y un termoperiodo de 30/20 °C. Una semilla

se consideró como germinada cuando la longitud de la radícula igualó la de la semilla.

2.2.6. Diseño experimental

El experimento para cada una de las cinco especies estudiadas se llevó a cabo mediante un diseño en bloques completamente al azar (DBCA), con 10 tratamientos (combinaciones de niveles de los factores considerados).

2.2.7. Análisis estadístico

Con datos obtenidos de las mediciones morfológicas se obtuvieron los promedios en cada una de las variables.

El análisis de varianza para las variables de interés en carga por compresión se realizó con el programa estadístico SAS® versión 9.4. Las medias se compararon con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), con la finalidad de determinar qué especie tiene la mayor resistencia a ruptura por compresión.

A las pruebas de germinación también se les aplicó un ANAVA, pero a la variable germinación se le realizó la transformación arco seno: *germinación transformada* = $\arcseno(\text{germinación})^{1/2}$, la germinación en tanto por uno, para tener una mejor interpretación de los datos con las pruebas de Tukey ($\alpha=0.05$).

El modelo estadístico fue:

$$y_{ij} = \mu + T_i + B_j + E_{ij}$$

Donde:

y_{ij} = el valor de la respuesta, μ = media general, T_i = efecto del i-ésimo tratamiento, B_j = efecto del j-ésimo bloque, E_{ij} = error experimental, E_{ij} son independientes e idénticamente distribuidos, con una $N(0, \sigma^2)$.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1. Análisis y anatomía macroscópica y microscópica de las semillas

Los lotes tuvieron alta pureza, las cinco especies con más de 93%; las impurezas son residuos de la vaina. El número de semillas por kilogramo es variable, debido a su tamaño, mientras que *V. schaffneri* tiene semillas grandes, con 7 400 semillas kg^{-1} , para *P. laevigata* este número se triplica, 23 734 semillas kg^{-1} . Todas son especies con semillas ortodoxas, pues tienen un bajo contenido de humedad. La viabilidad en cuatro especies fue 100% y en una 96% (*V. farnesiana*) (Tabla 2).

Las especies de *Vachellia* son más grandes en longitud, ancho, grosor y peso que las de *Prosopis*, siendo la más voluminosa *V. pennatula* y la más pequeña *P. laevigata*. Las semillas de *Vachellia* tienen una forma ovalada, pero las de *Prosopis* son ovoides (Tabla 3).

El pleurograma está bien marcado en las cinco especies, con areolas largas. Sin embargo, existe una diferencia entre géneros de las especies estudiadas; en *Vachellia* la areola presenta líneas de fracturas y en *Prosopis* son lisas, como en el resto de la cubierta seminal. Las semillas estudiadas presentan epidermis externa, subepidermis, parénquima esponjoso, endospermo y el embrión

cotiledonar (Fig. 1). Al parecer no se ha publicado una anatomía macroscópica para las semillas de *V. farnesiana* y *A. pennatula*, por lo que se compararon con *P. juliflora* (NIEMBRO, 1988). CAPPARELLI (2008) reconoce para *P. chilensis* y *P. flexuosa*: testa y tegmen (parénquima esponjoso), epidermis, subepidermis, parénquima esponjoso, células empalizadas y cotiledones.

La epidermis externa y la subepidermis forman lo que se conoce como la testa propiamente. El parénquima esponjoso (Fig. 2), en las cinco especies presenta una pared con poros en forma de eslabón a lo largo del endospermo. El endospermo está presente en diferentes proporciones en las cinco especies.

3.3.2. Germinación

La curva de germinación en las dos especies de mezquite (*Prosopis*) es similar, en ellas la germinación fue rápida y uniforme (Fig. 3). En estas especies 70% de la germinación se obtuvo en el cuarto día. Por el contrario, en las especies de huizache (*Vachellia*), la germinación fue más lenta y menor (Fig. 4).

La escarificación mecánica (lijado) fue el tratamiento más efectivo para las especies de mezquite (*P. laevigata* y *P. glandulosa*), con 100% de germinación (Tablas 5 y 6). MIRANDA et al. (2011) presentan este mismo valor para *P. juliflora* en semillas sin endocarpio.

Los datos de FOLLIOTT; THAMES (1983) muestran que la germinación en especies del género *Prosopis* en América Latina, es de 95%. Con semillas de *V. schaffneri* de la Mixteca Alta oaxaqueña, se tuvo 87% de germinación por este

método de lijado (PÉREZ et al., 2006). En *V. farnesiana*, GODÍNEZ-ÁLVAREZ; FLORES-MARTÍNEZ (2000) obtuvieron 86.7%. Estos valores son menores a los obtenidos en esta investigación: 96% para *V. schaffneri*, 93% en *V. pennatula* y 81% en *V. farnesiana*.

Para *V. schaffneri*, *V. farnesiana* y *P. glandulosa*, solo existen dos grupos con diferencias significativas entre sí: uno para lijado y otro para el resto de tratamientos (Tabla 5). En las otras dos especies, el lijado también resultó ser el mejor tratamiento. Los resultados de germinación utilizando HCl (método químico) son pobres (Tablas 5 y 6), comparados con otros estudios, como uno en *P. juliflora* con 99% de germinación para semillas sin endocarpo (MIRANDA et al., 2011) y 100% en semillas de *P. limensis* germinadas *in vitro* (MINCHALA-PATIÑO et al., 2014). Sin embargo, no son valores tan bajos como el 12.5% de *P. laevigata* en el trabajo de JUÁREZ et al. (2015) y 9% de D'AUBETERRE et al. (2002). Es claro que el tiempo de inmersión en HCl puede ser la diferencia entre un valor de germinación alto y otro bajo, pues el tiempo de inmersión adecuado maximizará la germinación, pero una inmersión muy breve no afectará lo suficiente la cubierta seminal, en tanto que un tiempo muy largo de inmersión puede dañar el embrión.

La prueba de comparación de medias para *P. laevigata*, muestra que la escarificación mecánica superó al resto de tratamientos, y que la inmersión en HCl superó al testigo (Tabla 6).

La escarificación mecánica se compara con tres agentes naturales: dispersión hidrócora y resistencia a la ruptura por pisoteo o masticado de animales. En las zonas áridas y semiáridas, las lluvias son muy escasas, pero cuando se presentan generalmente se trata de tormentas fuertes. Esto provoca que algunas semillas sean arrastradas por los escurrimientos superficiales y que en su trayectoria vayan chocando y friccionando con otros materiales, principalmente rocas y partículas de suelo mineral, en esta escarificación natural las semillas van sufriendo ligeras raspaduras o pequeñas grietas. Es claro que en la naturaleza el nivel de “lijado natural” de las semillas debe ser muy variable.

El ramoneo o consumo de los frutos de mezquite y huizache por los animales silvestres o domesticados como los rumiantes, son un factor importante en la dispersión de las semillas. El abomaso es el cuarto y último compartimento del estómago del rumiante, en éste se concentran los jugos gástricos, los cuales están compuestos por ácido clorhídrico (HCl) entre otros compuestos (RODRÍGUEZ; VALENCIA, 2007). KNEUPER et al. (2018), hallaron que la semilla de *P. glandulosa* Torr. var *gladulosa* es consumida y dispersada viable por bovinos, mientras que los ovinos y caprinos consumen el fruto, y reducen la viabilidad.

La escarificación térmica no mostró resultados significativos en el experimento. Sin embargo, en los incendios forestales, las altas temperaturas pueden degradar los tegumentos; en las fabáceas el tegumento externo es duro e impermeable al agua o a los gases (VÁZQUEZ et al., 1997). *P. juliflora* reporta un aumento en la germinación a una temperatura constante de 35°C durante 24 horas (FFOLLIOU; et al., 2018).

THAMES, 1983). BOWEN; EUSEBIO (1981) mencionan 83% de germinación para semillas de *V. mangium* expuestas a calor seco (100°C) durante 10 min.

En otra investigación llevada a cabo por SABIITI; WEIN (2016), con un banco de semillas de *V. siberiana*, con semillas recolectadas del suelo de las áreas quemadas, se produjo una germinación de 65%, en comparación del 10% en las áreas no quemadas.

3.3.3. Resistencia a la ruptura

Al realizarse pastoreo en los bancos de semillas, algunas sufren daños mecánicos en la cubierta seminal que pueden involucrar desde la producción de pequeñas grietas hasta la destrucción de la semilla como respuesta al pisoteo. La fuerza ejercida por las pezuñas de un rumiante se divide en dos componentes: acción vertical al suelo y fuerza tangencial de forma horizontal al suelo (PATTO et al., 1978). La fuerza de la presión está dada en relación con el peso del animal y área planar (NOBLE; TONGWAY, 1986). Al relacionar estos datos con los valores de resistencia obtenidos en la máquina universal de pruebas, se ve que las semillas escarificadas por pisadas de bovinos, ovinos, caprinos o animales silvestres deben ser pocas, ya que el peso vivo de los animales pequeños está en un rango de 70-75 kg, aunque pueden darse las condiciones para que esto suceda (sobre las rocas, por ejemplo).

La fuerza de fractura en la cubierta seminal es un indicador de la resistencia a la compresión que ofrece la semilla a ser rota por pisoteo o masticado por los animales. De los valores obtenidos con la máquina universal, existen diferencias

con la carga a la que sufren daños por la compresión a la que son sometidas. *V. schaffneri* y *V. pennatula* mostraron valores estadísticamente superiores a los de las demás especies y *V. farnesiana* solo fue superior a *P. laevigata* (Tabla 7).

Para determinar qué especie tiene la latencia más intensa y variada ante los diferentes agentes naturales, se propuso de un índice de latencia que se calcula como se señala a continuación. Para cada uno de los tres métodos de escarificación (químico, térmico y lijado), se definieron las siguientes tres clases de porcentaje de semillas no germinadas: 0 - 67% = 1, 68 - 83% = 2 y 84 - 100% = 3. Para el caso de la resistencia a la ruptura, los rangos y valores de calificación fueron: 341 – 450.39 N = 1, 450.4 - 559.77 N = 2 y 559.78 – 669 = 3. Las calificaciones (1 a 3) implican que, a mayor valor de no germinación y mayor resistencia a la ruptura, el valor del índice de intensidad de latencia física será mayor. El índice para cada especie se obtuvo dividiendo la suma de las cuatro calificaciones entre 12, pues como máximo se podrían tener cuatro calificaciones iguales a 3 para una especie considerada. El mayor valor posible para el índice es $12/12 = 1$, y el mínimo de $4/12 = 0.33$.

En la tabla 8 se observa que la especie con la latencia más intensa es *V. schaffneri*, mientras que la más baja es *P. glandulosa*. Así mismo, el género *Vachellia* tiene una latencia física más intensa que *Prosopis*, en las especies estudiadas.

En el medio natural puede darse la combinación de los dos factores anteriores, escarificación química + ruptura por pisoteo o masticado. Por ejemplo, que las

semillas sean consumidas por animales, sean defecadas y posteriormente pisadas por otros. Las semillas pueden resultar beneficiadas o perjudicadas con este doble tratamiento, según la intensidad de cada uno y la intensidad de la latencia física de la especie involucrada.

3.4. CONCLUSIONES

Tanto en las semillas de *Vachellia* como en las de *Prosopis* se identificó endospermo, así como las capas de la cubierta seminal siguientes, del interior hacia el exterior de la semilla: parénquima esponjoso, osteoesclereidas, macrosclereidas y cutícula.

Se corrobora a la escarificación mecánica como el mejor método pregerminativo para todas las especies estudiadas. En *P. laevigata*, se comprobó el beneficio de la escarificación química sobre la germinación y, por ende, del paso de la semilla por el tracto digestivo de animales. Las otras especies estudiadas podrían requerir de diferentes tiempos de exposición al ácido de los aquí estudiados.

Es conveniente probar otras temperaturas y tiempos de exposición, pues con base en la literatura, la latencia física de otras especies leguminosas, es eliminada por tratamientos térmicos en el laboratorio y por fuego en la naturaleza.

Las semillas de *Vachellia*, son más resistentes a la compresión y, por tanto, al pisoteo y al masticado, que las de *Prosopis*.

Las semillas de *Vachellia*, más voluminosas y pesadas, tienen una latencia física más intensa que las de *Prosopis*. Tal mayor intensidad indica que las especies

estudiadas de *Vachellia* están más adaptadas ante arrastre, masticado, pisoteo y paso por tracto digestivo. El índice de la latencia física propuesto, da idea de su intensidad, así como de la gama de agentes naturales ante los que funciona dicha latencia, como los mencionados, además del fuego.

Para la producción en vivero de las especies estudiadas, se recomienda el lijado para eliminar la latencia, si bien se trata de una práctica lenta.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASKIN, C.C.; BASKIN, J.M. **Seeds**. San Diego: Academic Press, 2001.
- BENITES, J.R. Las leguminosas en la alimentación y en la fertilidad de los suelos, **Leisa Revista de Agroecología**, v. 32, n. 2, p. 5-8, 2016.
- BONNER, F.T.; VOZZO, J.A.; ELAM, W.W.; LAND, SB. **Curso de capacitación sobre tecnología de semillas de árboles**. Manual del estudiante. USDA Servicio Forestal, 1994.
- BOWEN, M.R.; EUSEBIO, T.V. *Acacia mangium*. Updated information on seed collection, handling and germination testing. **Occasional Tech. and Scientific Notes, Seed Series**. No. 5. Forest Research Centre, Sepilok, Sabah. (1981)
- CAPPARELLI, A. Caracterización cuantitativa de productos intermedios y residuos derivados de alimentos del algarrobo (*Prosopis flexuosa* y *P. chilensis*, Fabaceae): aproximación experimental aplicada a restos arqueobotánicos desecados. **Darwiniana**, v. 46, n. 2, p.175-201, 2008.
- D'AUBERTERRE, R.; PRINCIPAL, J.; GARCÍA, J. Efecto de diferentes métodos de escarificación sobre la germinación de tres especies del género *Prosopis*. **Revista Científica**, v. 7, n. 2, p. 575-577, 2002.
- FFOLLIOTT, P.F.; THAMES, J.L. **Recolección, manipuleo, almacenaje y pretratamiento de las semillas de *Prosopis* en América Latina**. FAO, Italia. 1983.
- GODÍNEZ-ÁLVAREZ, H.; FLORES-MARTÍNEZ, A. Germinación de 32 especies de pantas de la costa de Guerrero: su utilidad para la restauración ecológica. **Polibotánica**, v. 11, p. 1-29, 2000.
- INSTRON. **Instron BlueHill referencia de cálculos. Manual de referencia de software**. Revisión A (Help V 2.3). Instron Corporation, 2006.
- JUÁREZ, A.J.R.; ALVARADO, R.M.; VALDEZ, C.R. Escarificación de semillas de mezquite (*Prosopis laevigata*) para aumentar la eficiencia en la germinación.

- 5a Jornada de Investigación.** Universidad Autónoma de Zacatecas. 2015.
- KNEUPER, C.; SCOTT, C.; PINCHAK, W. Consumption and dispersión of mesquite seeds by ruminants. **Range Management**, v. 56, n. 3, 255-259, 2018.
- MILLER, M.F. *Acacia* seed survival, seed germination and seedling growth following pod consumption by large herbivores and seed chewing rodents. **African Journal of Ecology**, v. 33, 194-210, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1995.tb00797.x>, 1995.
- MINCHALA-PATIÑO, J.; POMA-ANGAMARCA, R.; MUÑOZ-CHAMBA, L.; YAGUANA-ARÉVALO, M.; GONZÁLEZ-ZARUMA, D.; ERAS-GUAMÁN, V.H.; ROJAS-IDROGO, C.; DELGADO-PAREDES, G.E. Propagación *in vitro* de *Prosopis limensis* in Hook. (Fabaceae-Mimosoideae). **Quebracho**, v. 22, p. 88-99, 2014.
- MIRANDA, R.Q.; OLIVEIRA, M.T.O.; CORREIA, RM.; ALMEIDA-CORTEZ, JS.; POMPELLI, M. F. Germination of *Prosopis juliflora* (Sw) DC seeds after scarification treatments. **Plant Species Biology**, v. 26, n. 2, p. 186-192. <https://doi.org/10.1111/j.1442-1984.2011.00324.x>, 2011.
- NIEMBRO, R. A. **Semillas de árboles y arbustos: Ontogenia y estructura.** D.F., México: Editorial Limusa. 1988.
- NOBLE, J.C.; TONGWAY, D.J. **Herbivores in arid and semi-arid rangelands.** En: Russell, J.S. & Isbell, R.F. (eds). *Austrian Soils: The human impac.* University of Quesland Press. 1986.
- PATTO, P.M.; CLEMENT, C.R.; FORBES, T.J. **Grassland Poaching in England and Wales.** Grassland Research Institute , Maidenhead, 1978.
- PÉREZ, M.G.; SEGOVIA, OA.; MARTORELL, C. Efectividad de algunos tratamientos pre-germinativos para ocho especies leñosas de la Mixteca Alta oaxaqueña con características relevantes para la restauración. **Boletín de La Sociedad Botánica de México**, v.79, p. 9–20, 2006.
- RODRÍGUEZ, C.A.; VALENCIA, C.E. El estómago del pequeño rumiante. **Ruminantia**, v. 3, n 2, p. 2-5, 2007.
- SABIITI, E.; WEIN, R. Fire and acacia seeds: a hypothesis of colonization success. **British Ecologica Society**, v. 75, n. 4, p. 937-946, 2016.
- SANCHEZ, J.; ESTRADA-CASTILLÓN, E.; ARIAS MONTES, S.; MURO PÉREZ, G.; GARCÍA-ARANDA, M.; GARCÍA-MORALES, L. Diversidad cactoflorística de la zona árida y semiárida de Durango, Méxco. **Interciencia**, v. 39, p. 794–802, 2014.
- VÁZQUEZ, Y. C.; OROZCO, A.; ROJAS, M.; SÁNCHEZ, M.E.; CERVANTES, V. **La reproducción de las plantas: semillas y meristemos.** México: FEC, SEP, CONACyT, 1997.

Tabla 2. Tratamientos de escarificación: química con HCl, térmica con diferentes temperaturas, mecánica (lijado) y un testigo.

Table 2. Scarificatory treatments: chemical with HCl, thermic with different temperatures, mechanical (sanding) and a non-scarified control.

Método de escarificación

	Químico	Térmico	Mecánico	Testigo
Tratamientos	T1	T5	T9	T10
	T2	T6		
	T3	T7		
	T4	T8		

Escarificación química: inmersión en diferentes tiempos, T1=30, T2=120, T3=150 y T4=180 min; escarificación térmica con exposición durante 3 min a T5=80, T6=100, T7=120 y T8=140°C; T9=lijado y T10=testigo.

Tabla 3. Resultados del análisis de semillas (excepto germinación).

Table 3. Seed analysis results (except germination).

Características	<i>Vachellia</i>	<i>Vachellia</i>	<i>Vachellia</i>	<i>Prosopis</i>	<i>Prosopis</i>
	<i>schaffneri</i>	<i>pennatula</i>	<i>farnesiana</i>	<i>laevigata</i>	<i>glandulosa</i>
Pureza (%)	95	95	95	94	93
No. semillas kg ⁻¹	7 400	7 448	14 368	23 734	22 305
CH (%)	5.72	5.89	4.18	1.47	6.4
Viabilidad (%)	100	100	96	100	100

Tabla 4. Características morfométricas y valores promedio (\pm desviación estándar) de las semillas.

Table 4. Morphometric characteristics and average values (\pm standard deviation) of the seeds.

Atributos	V.	V.	V.	P.	P.
	<i>schaffneri</i>	<i>pennatula</i>	<i>farnesiana</i>	<i>laevigata</i>	<i>glandulosa</i>
Longitud (mm)	6.96 \pm 0.69	7.75 \pm 0.90	6.12 \pm 0.60	6.26 \pm 0.72	6.81 \pm 0.89
Ancho (mm)	5.94 \pm 0.5	5.50 \pm 0.57	4.72 \pm 0.39	4.62 \pm 0.46	4.59 \pm 1.06
Grosor (mm)	3.90 \pm 0.23	3.75 \pm 0.33	3.17 \pm 0.27	2.60 \pm 0.22	2.38 \pm 0.20
Peso (g)	0.135 \pm 0.13	0.134 \pm 0.03	0.070 \pm 0.01	0.042 \pm 0.01	0.045 \pm 0.01
Forma	Oblonga	Oblonga	Oblonga	Ovoide	Ovoide
Color	Negro	Café	Verde-olivo	Café-amarillo	Café-amarillo
% de pleurograma	90	90	90	90	90

Tabla 5. Comparación de medias (prueba de Tukey, $\alpha=0.05$) entre tratamientos para *V. schaffneri*, *V. farnesiana* y *P. glandulosa*.

Table 5. Mean comparison (Tukey test, $\alpha=0.05$), between treatments for *V. schaffneri*, *V. farnesiana* and *P. glandulosa*.

Tratamiento / Germinación (%)					
	<i>V. schaffneri</i>		<i>V. farnesiana</i>		<i>P. glandulosa</i>
T9	96.2 a	T9	81.2 a	T9	100.0 a
T2	15.0 b	T2	8.7 b	T8	71.2 b
T1	7.5 b	T6	7.5 b	T7	66.2 b
T4	7.5 b	T10	5 b	T3	57.5 b
T3	6.2 b	T1	5 b	T5	56.2 b
T5	6.2 b	T8	5 b	T6	55.0 b
T7	6.2 b	T3	5 b	T4	53.7 b
T8	3.7 b	T5	3.7 b	T10	53.7 b
T6	1.2 b	T7	3.7 b	T1	50.0 b
T10	1.2 b	T4	3.7 b	T2	48.7 b

Tabla 6. Comparación de medias (prueba de Tukey, $\alpha=0.05$) entre tratamientos para *V. pennatula* y *P. laevigata*.

Table 6. Mean comparison (Tukey test, $\alpha=0.05$) between treatments for *V. pennatula* and *P. laevigata*.

Tratamiento / Germinación (%)			
	<i>V. pennatula</i>		<i>P. laevigata</i>
T9	92.5 a	T9	100 a
T8	58.8 b	T4	72.5 b
T7	40.0 bc	T2	62.5 bc
T4	35.0 bc	T7	58.8 bcd
T3	33.8 bc	T8	57.5 bcd
T2	31.3 bc	T3	57.5 bcd
T6	31.3 bc	T6	40.0 cd
T10	27.5 bc	T10	31.3 d
T1	21.3 c	T5	30.0 d
T5	15.0 c	T1	28.8 d

Tabla 7. Resultados de las cargas por compresión y comparación de medias con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$), entre especies.

Table 7. Results for compression loads and comparison of means with the Tukey test ($\alpha=0.05$), between species.

Especie	Carga por compresión (N)		
	Media	Mínima	Máxima
<i>V. schaffneri</i>	669 a	140	1 028
<i>V. pennatula</i>	653 a	349	1 350
<i>V. farnesiana</i>	482 b	215	840
<i>P. glandulosa</i>	473 bc	134	473
<i>P. laevigata</i>	341 c	188	758

Tabla 8. Calificación a la latencia más intensa a diferentes factores.

Table 8. Qualification for the most intense latency to different factors.

Especie	Resistencia a la ruptura (pisoteo)	Jugos gástricos (CHI)	Fuego (Calor seco)	Arrastre (Lijado)	Calificación
<i>V. schaffneri</i>	3	3	3	1	0.83
<i>V. pennatula</i>	3	2	3	1	0.75
<i>V. farnesiana</i>	2	2	2	1	0.58
<i>P. laevigata</i>	1	2	2	1	0.50
<i>P. glandulosa</i>	2	1	1	1	0.42

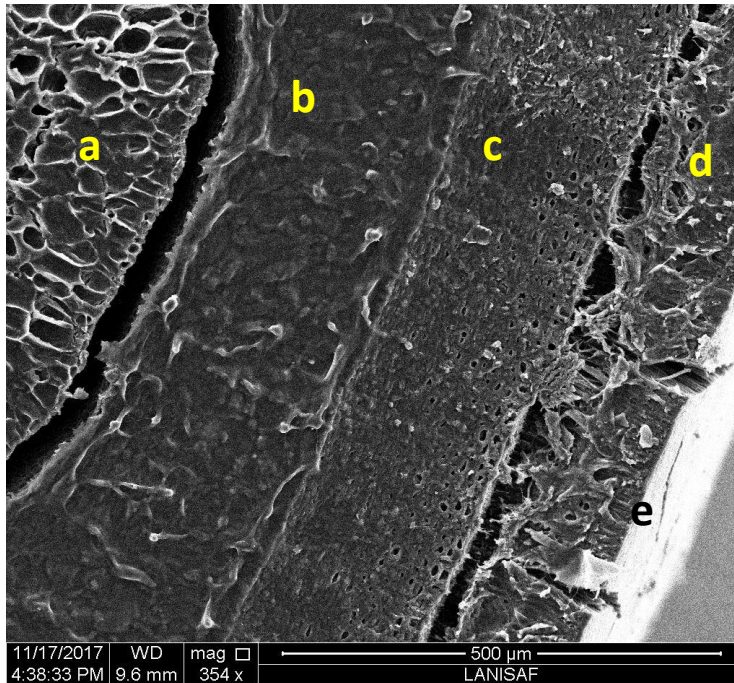


Figura 1. Cotiledones (a) y partes internas de la cubierta seminal de *V. pennatula*. b = endospermo; c = parénquima esponjoso; d = osteosclereidas y macrosclereidas; e = cutícula.

Figure 1. Cotyledons (a) and internal parts of the seminal cover of *V. pennatula*. b = endosperm; c = spongy parenchyma; d = osteosclereids and macrosclereids; e = cuticle.

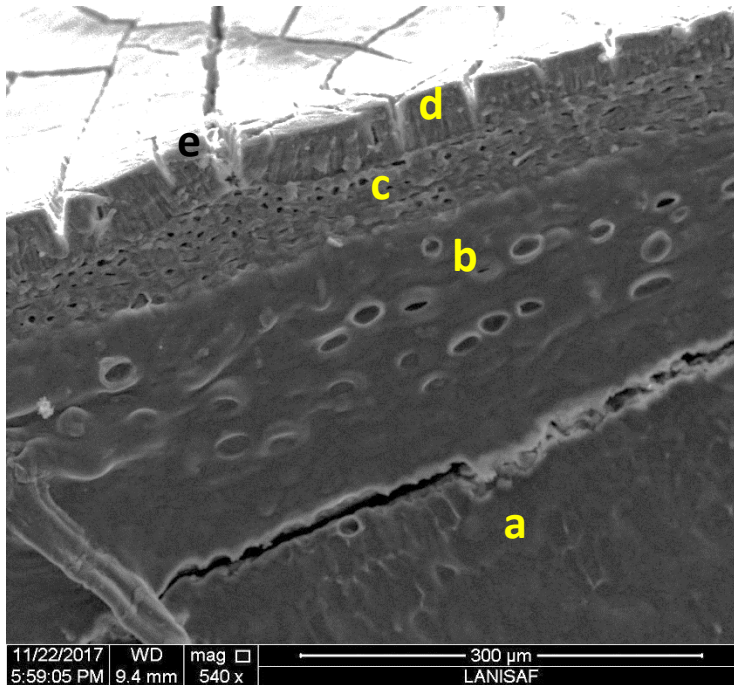


Figura 2. Cotiledones (a) y partes internas de la cubierta seminal de *P. glandulosa*. b = endospermo; c = parénquima esponjoso; d = osteosclereidas y macrosclereidas; e = cutícula.

Figure 2. Cotyledons (a) and internal parts of the seminal cover of *P. glandulosa*. b = endosperm; c = spongy parenchyma; d = osteosclereids and macrosclereids; e = cuticle.

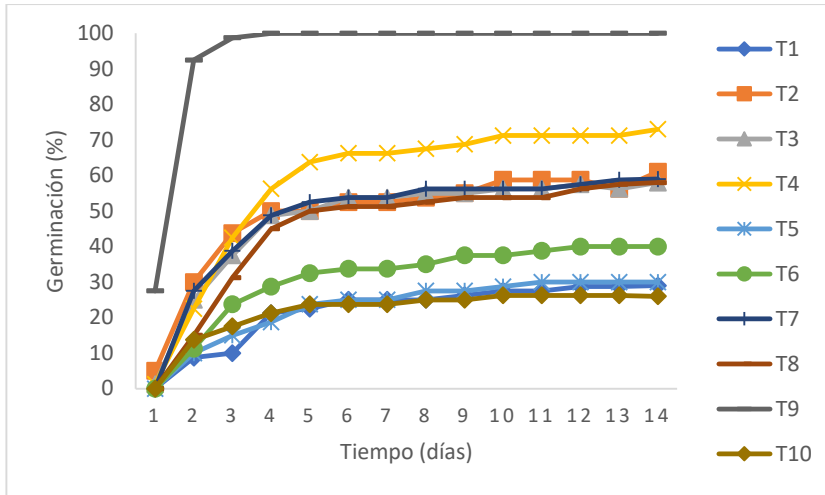


Figura 3. Germinación acumulada para semillas de *P. laevigata*. Escarificación química, T1=30, T2=120, T3=150 y T4=180 min en HCl; escarificación térmica, 3 min a T5=80, T6=100, T7=120 y T8=140°C; T9=lijado y T10=testigo.
 Figure 3. Cumulative germination for seeds of *P. laevigata*. Chemical scarification, T1=30, T2=120, T3=150 y T4=180 min in HCl; thermic scarification, 3 min a T5=80, T6=100, T7=120 y T8=140°C, along 3 min; T9=sanding and T10=control.

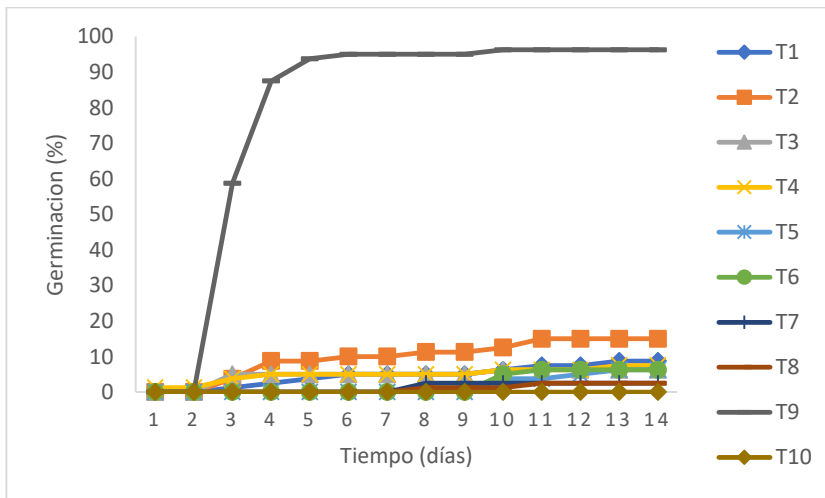


Figura 4. Curva de germinación acumulada para semillas de *V. schaffneri*.
 Figure 4. Cumulative germination curve for *V. schaffneri* seeds.